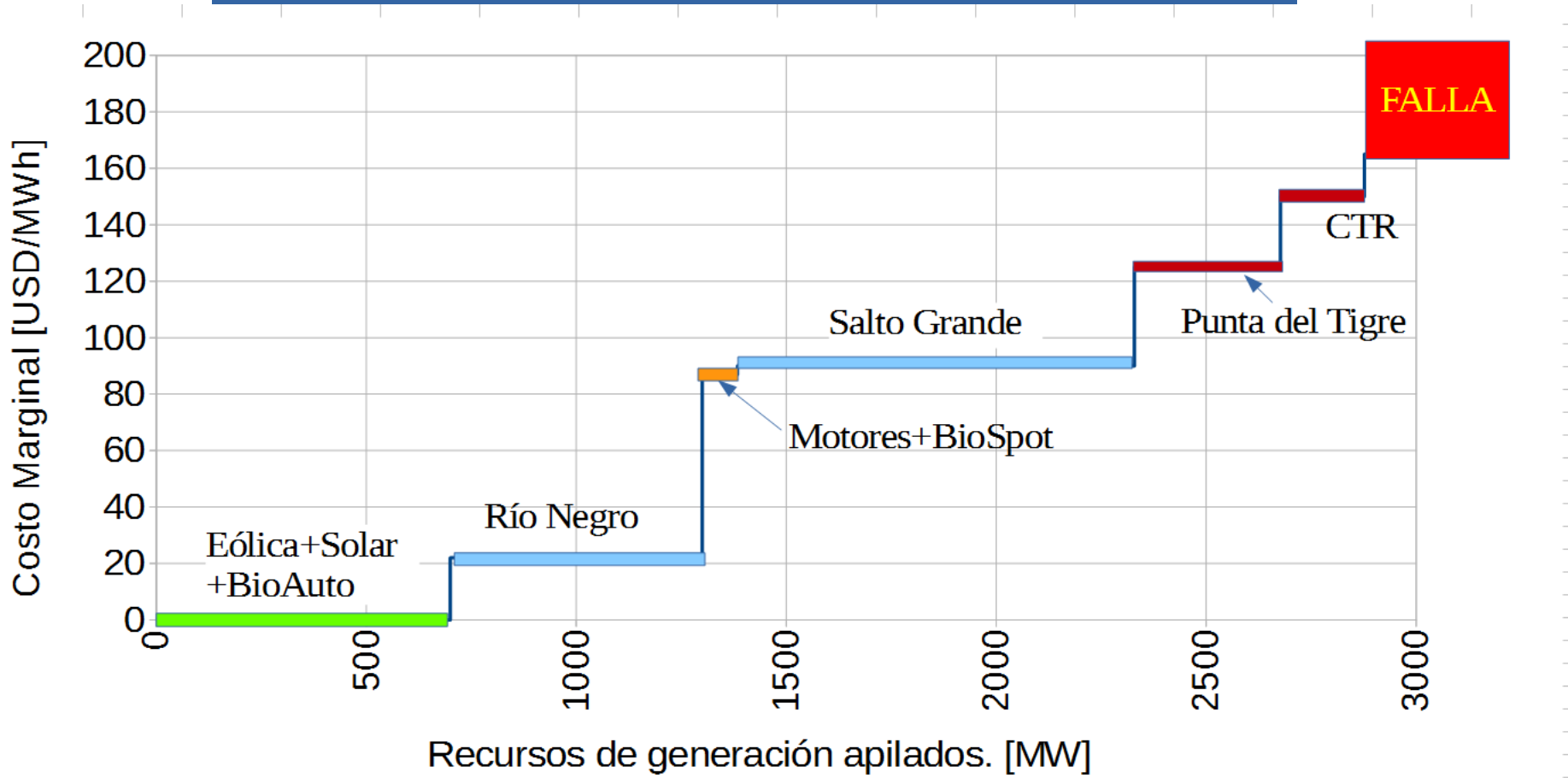
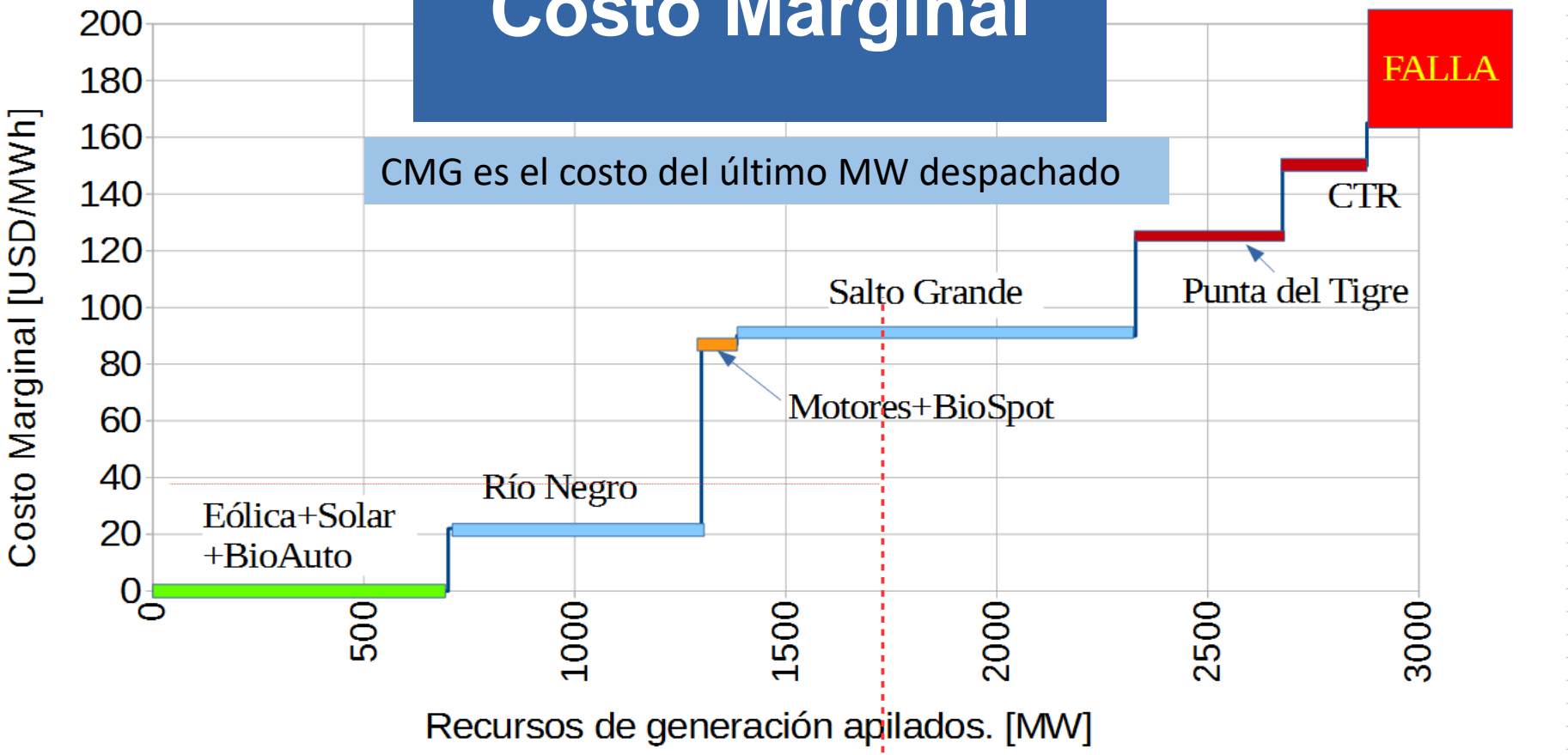


Despacho económico. Postes
horarios. Valor del agua
Embalsada. Costo de Falla. Costos
marginales y spot. Beneficio por
sustitución. Gradientes de
Inversión. Optimización del Costo
de Abastecimiento.

Oferta de Potencia ordenada por Costos Variables



Costo Marginal



CMG es el costo del último MW despachado

FALLA

CTR

Salto Grande

Punta del Tigre

Motores+BioSpot

Río Negro

Eólica+Solar
+BioAuto

Recursos de generación apilados. [MW]

Demanda

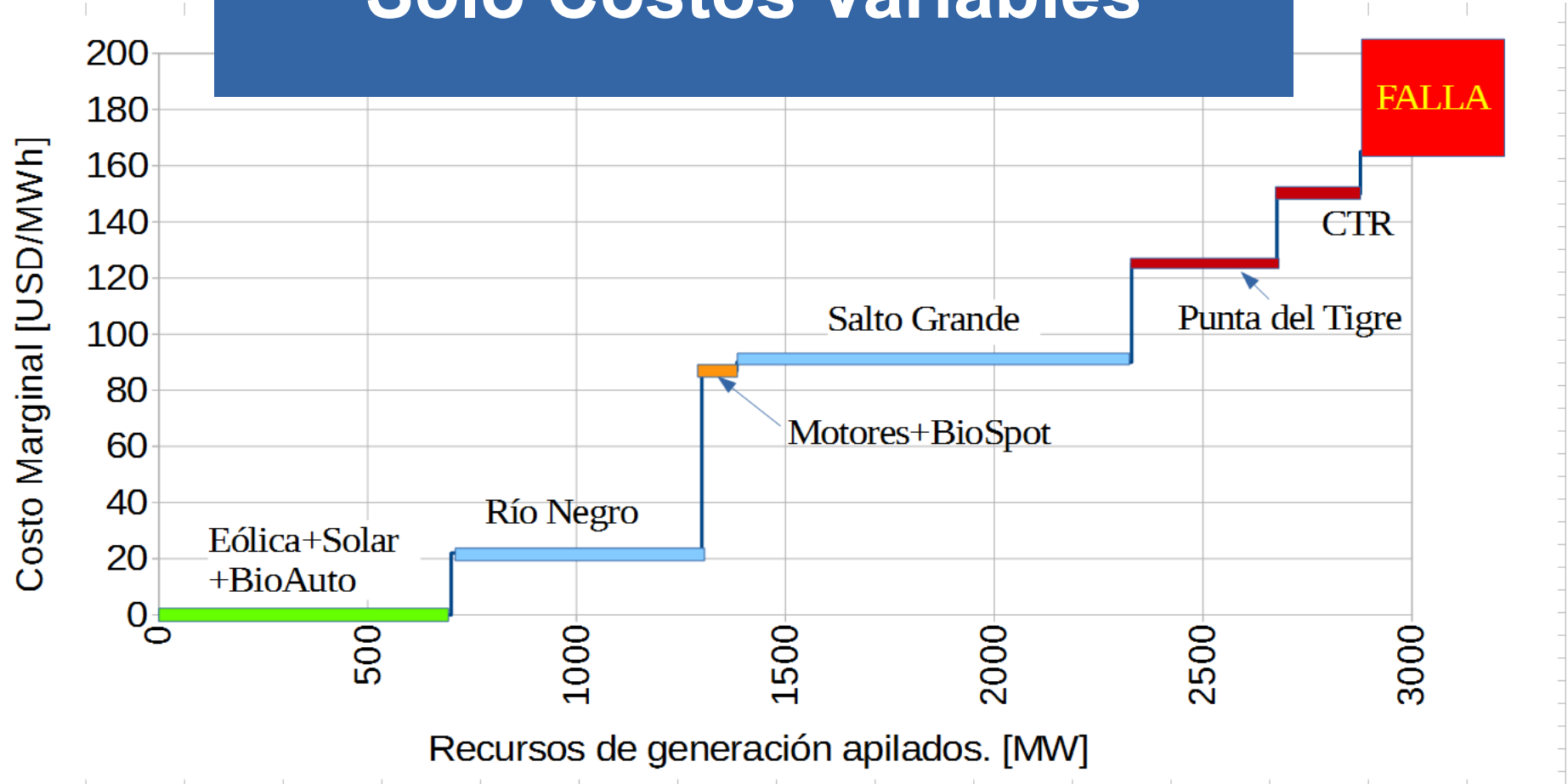


No Gestionable Demanda Neta

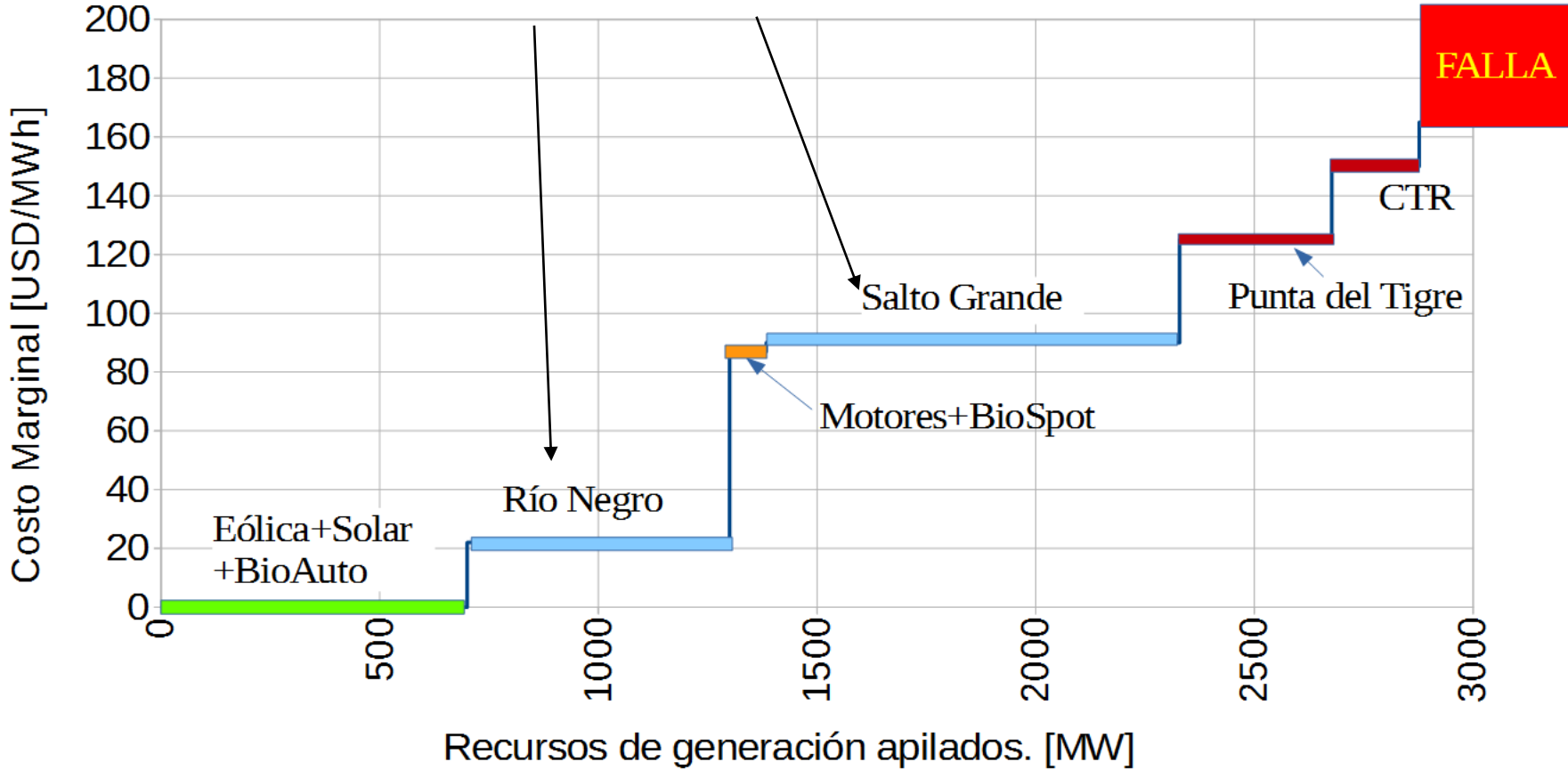
Despacho Óptimo

Primer Principio:

“Sólo Costos Variables”



Valor del Agua



Valor de un recurso almacenable



Comparación entre costo del presente y costo del futuro.

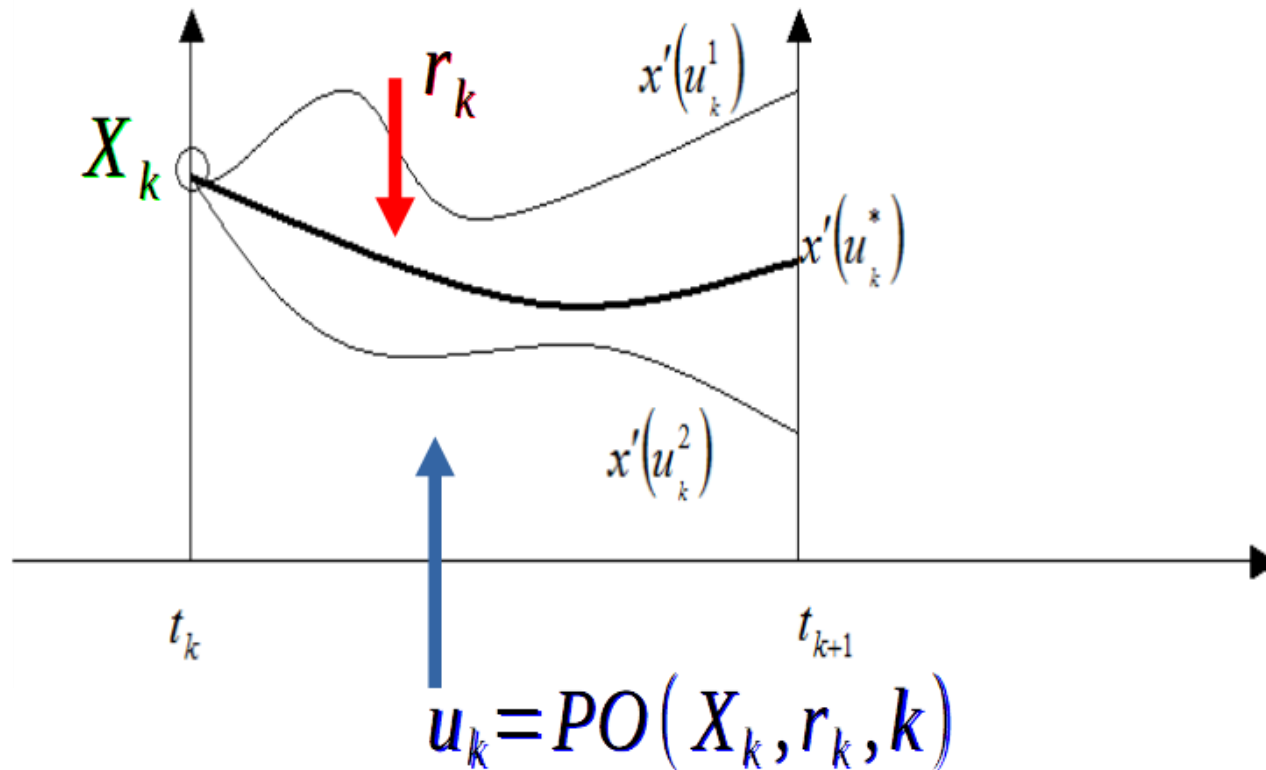
De no haber restricciones para el traslado en el tiempo, el costo marginal sería el mismo en todas las horas del futuro.

INCERTIDUMBRE DEL FUTURO.

MODELOS ESTOCÁSTICOS

PRONÓSTICOS

Costo Futuro, Política de Operación, Programación Dinámica Estocástica y Recursión de Bellman



$$CF(x, k) = \langle CE(x, u_k, r_k, k) + q \cdot CF(x', k+1) \rangle_{r_k}$$

Despacho Óptimo

Segundo Principio:

“Los contratos son de papel”

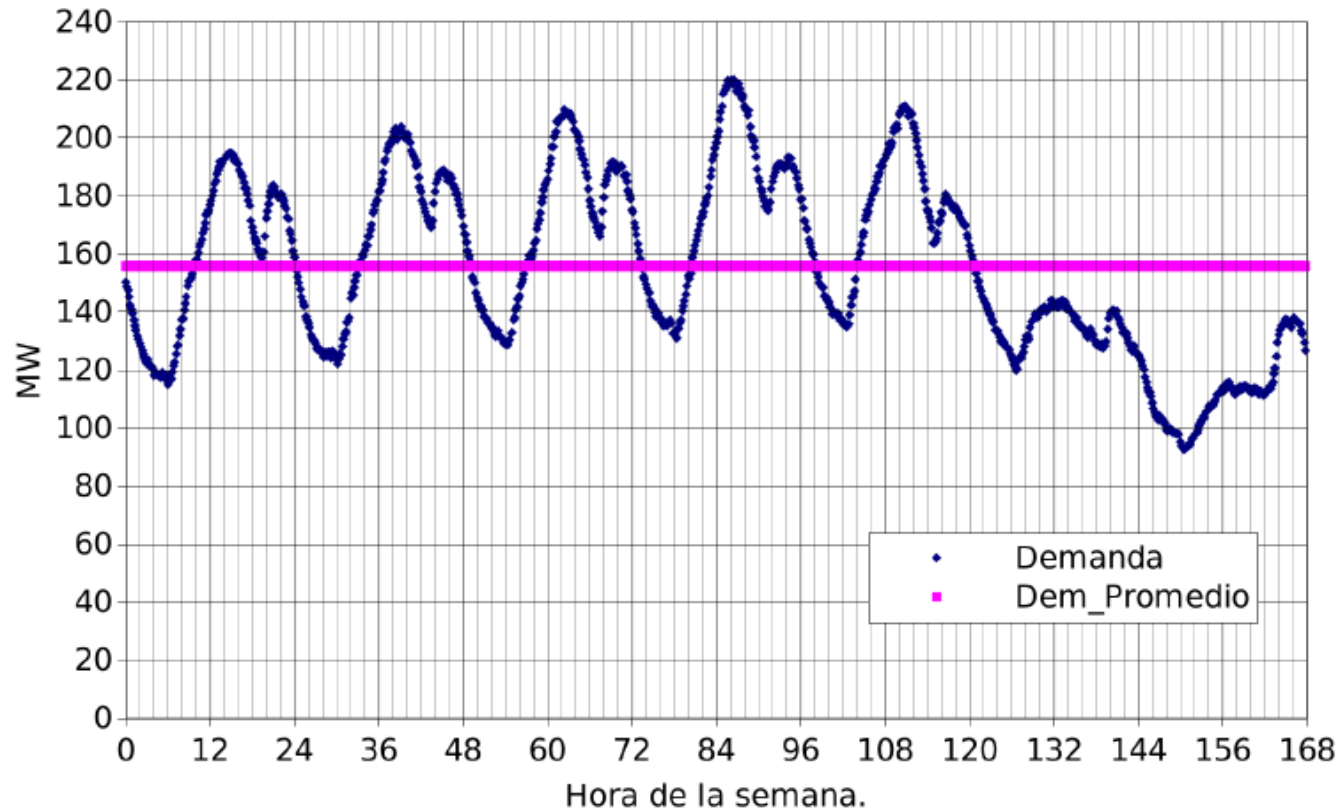


Modelado con Postes Horarios

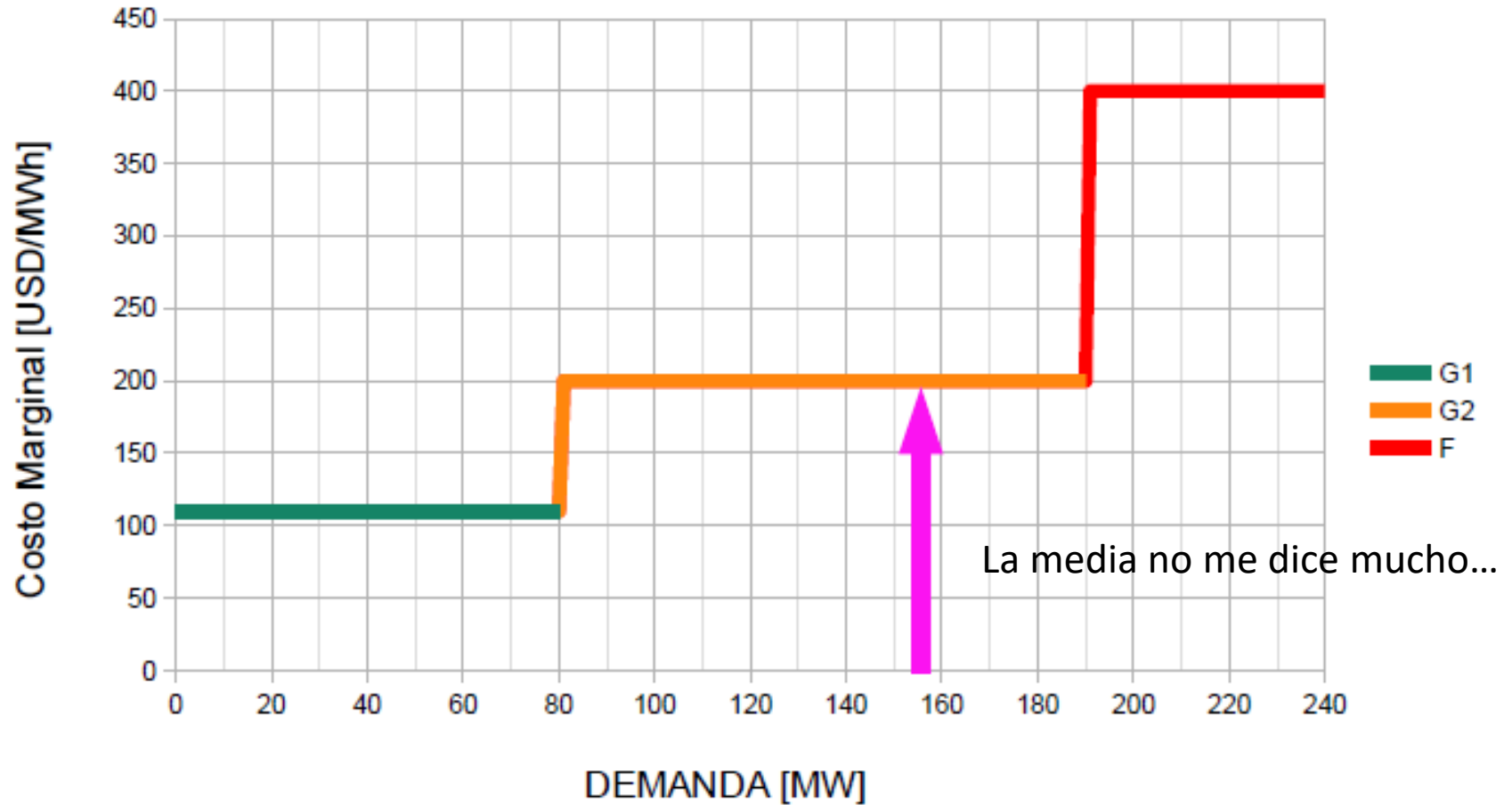
Ejemplo:

- C1 de 80 MW y $cv= 110$ USD/MWh
- C2 de 110 MW y $cv= 200$ USD/MWh
- Costo de falla = 400 USD/MWh
- Demanda

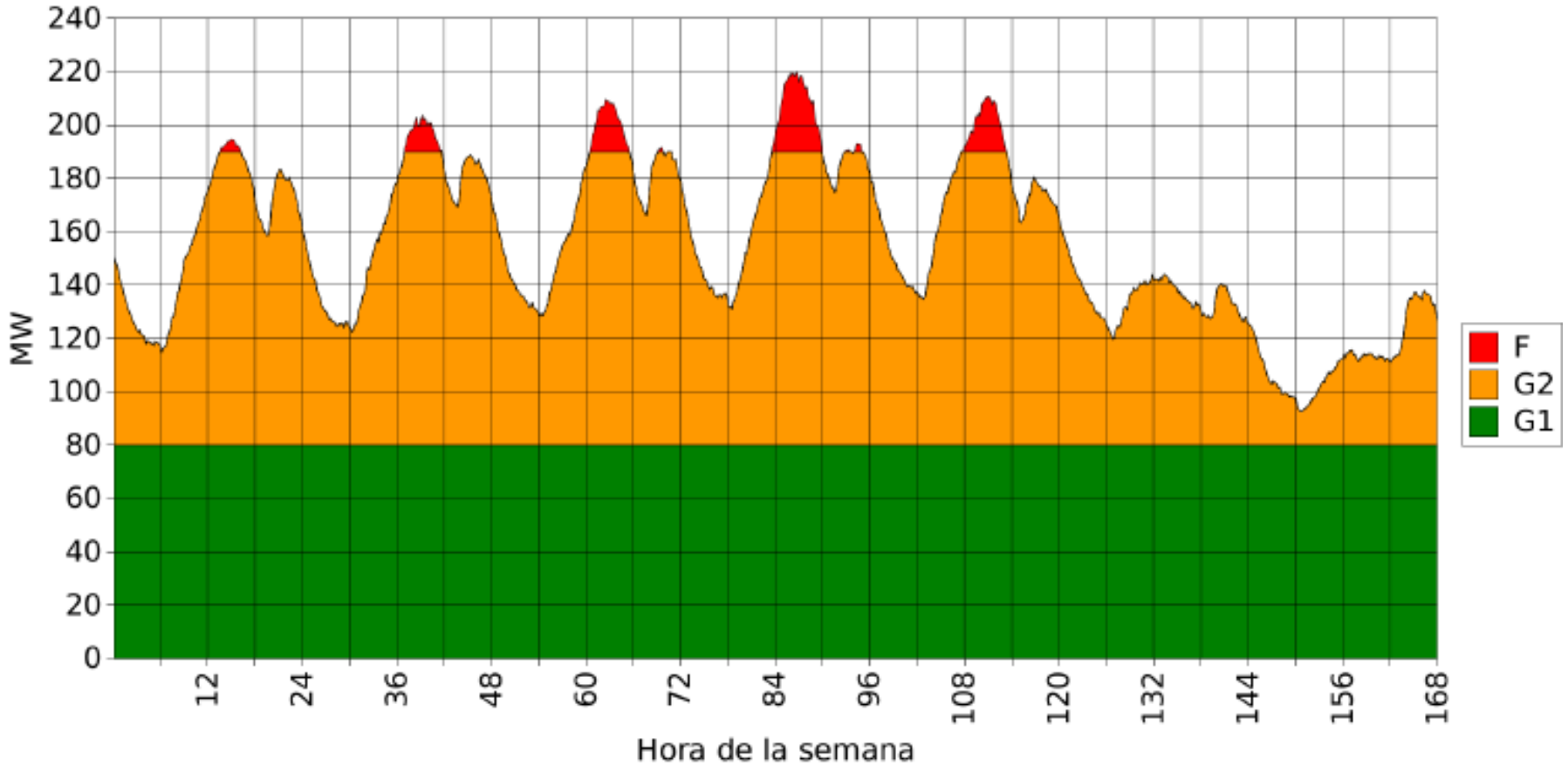
Demanda Media
156 MW



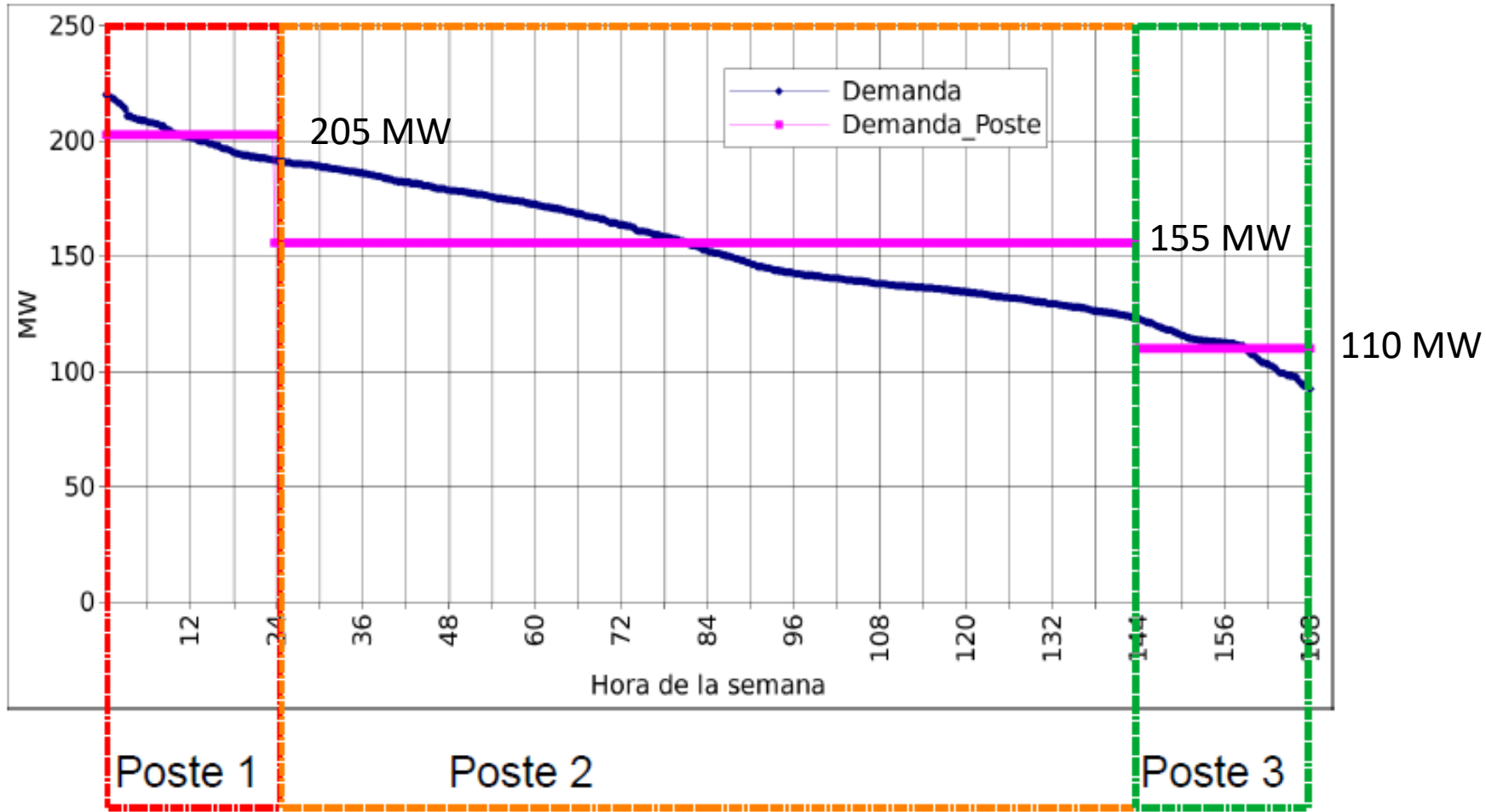
Orden de Mérito para el Despacho



Despacho temporal por mérito



Monótona de Carga: ordeno por MW



Para Simular se definen Postes (por ejemplo 3)

Postes del la Sala del curso

Editor - SimSEE - v_iie143.285 (GPLv3, IIE-FING) - PEG2023.ese

Archivo Herramientas ? Idioma

Notas Variables Globales Fuentes Actores Archivos Estados Mantenimientos Monitores SimRes3 Simulador ? Combustibles CO2

Horizonte de tiempo

Fecha de Inicio: 01/01/2024 00:00 Fecha de fin: 04/01/2038 00:00

Optimización: 01/01/2024 00:00 Simulación: 02/01/2034 00:00 Horizonte de guarda para simulación: 01/01/2024 00:00

Paso de tiempo

168 Pasos de optimización: 731 Pasos de simulación: 522

Horas Minutos

Regiones

Nombre	HusoH	NPostes	DurPos	DurPos
auto	-3	4	5; 30; 91; 42	

Editando "_auto_" Cosa con Nombre

Nubeseable

Nombre: _auto_ Huso horario: -3 Frecuencia [Hz]: 50

Controlar dinamicamente

Desviación de frecuencia máxima en control primario [Hz]: 2 Tiempo máximo admisible de control primario [s]: 5

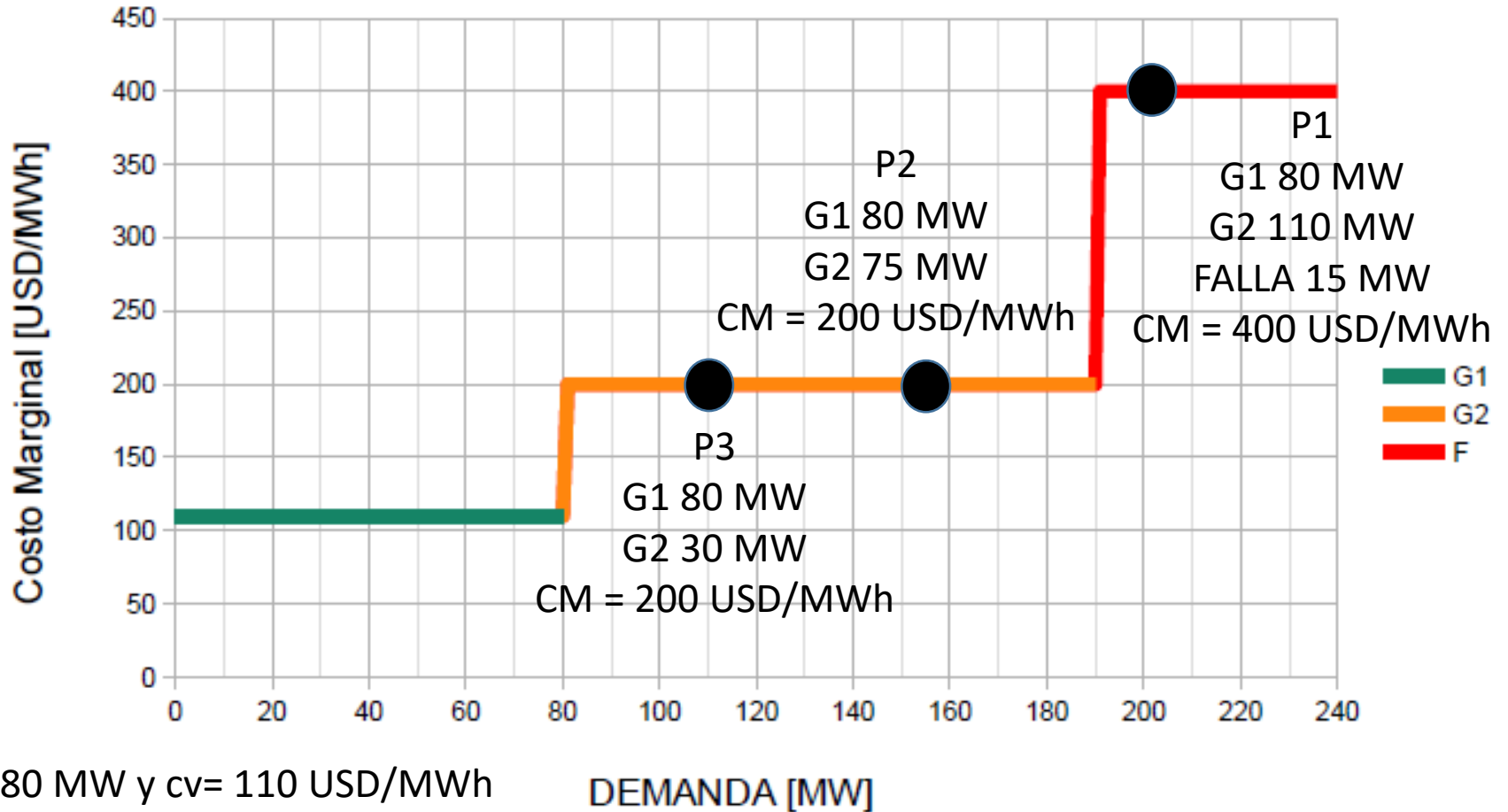
Límites para análisis de contingencias dP [MW]:
Mínimo dP: 100 Máximo dP: 100

Aplicar Demanda Neta Minima [MW]: -9999999

Número de Postes: 4 Postes monótonos

Poste N°	1	2	3	4
Duración	5	30	91	42

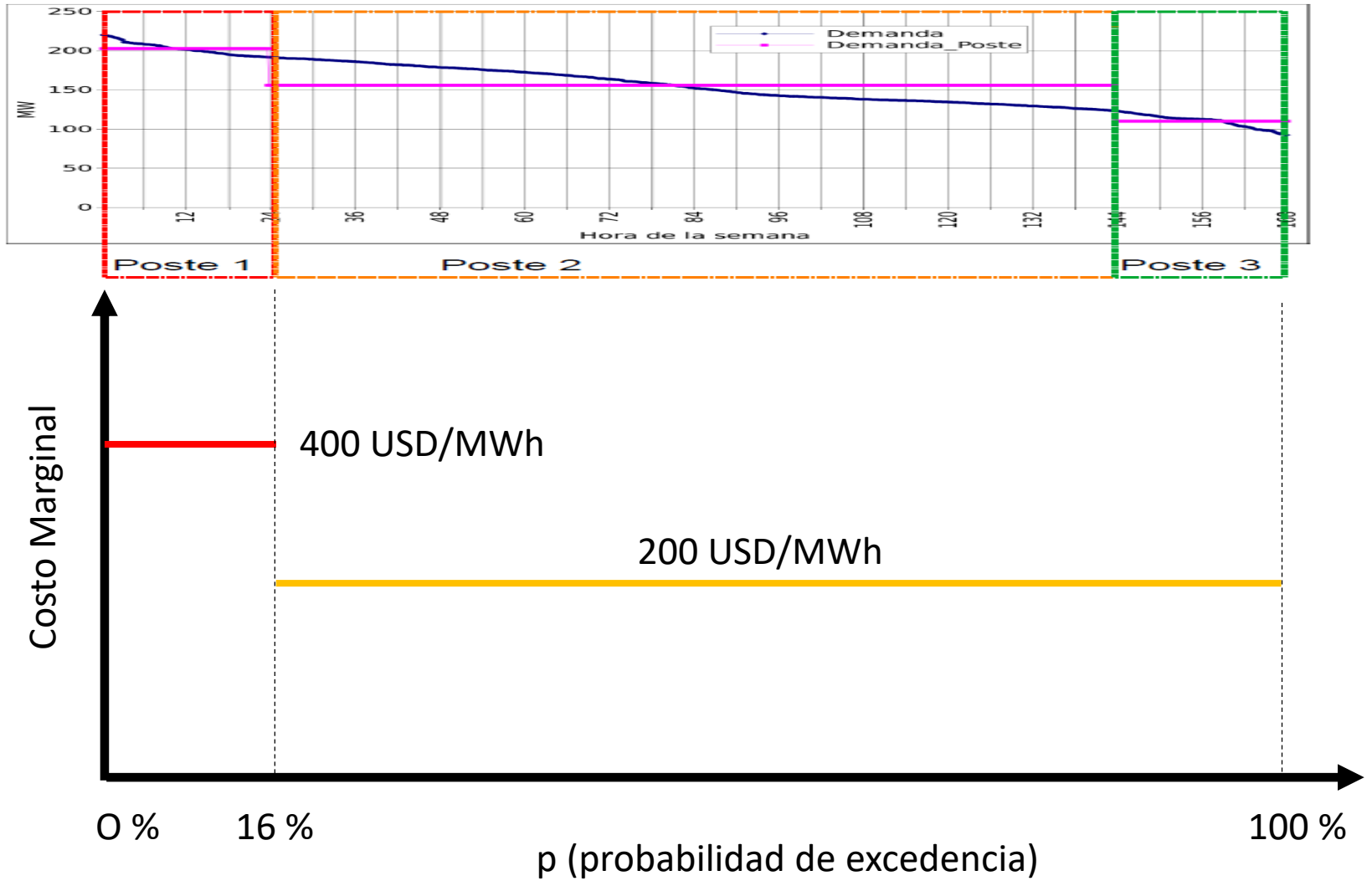
Orden de Mérito para el Despacho para cada Poste



- C1 de 80 MW y $cv = 110$ USD/MWh
- C2 de 110 MW y $cv = 200$ USD/MWh
- Costo de falla = 400 USD/MWh

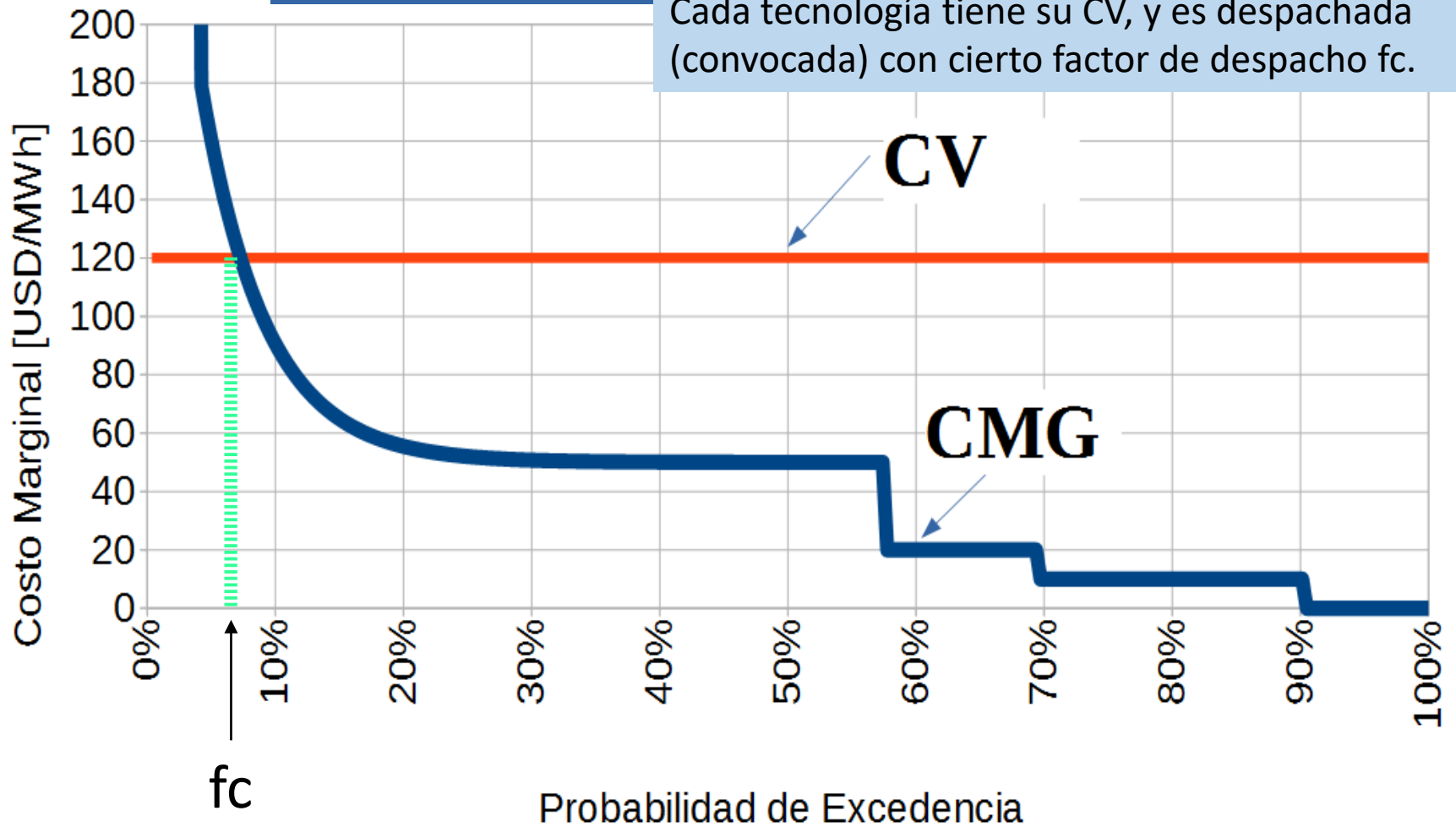
DEMANDA [MW]

Curva del Costo Marginal(p)

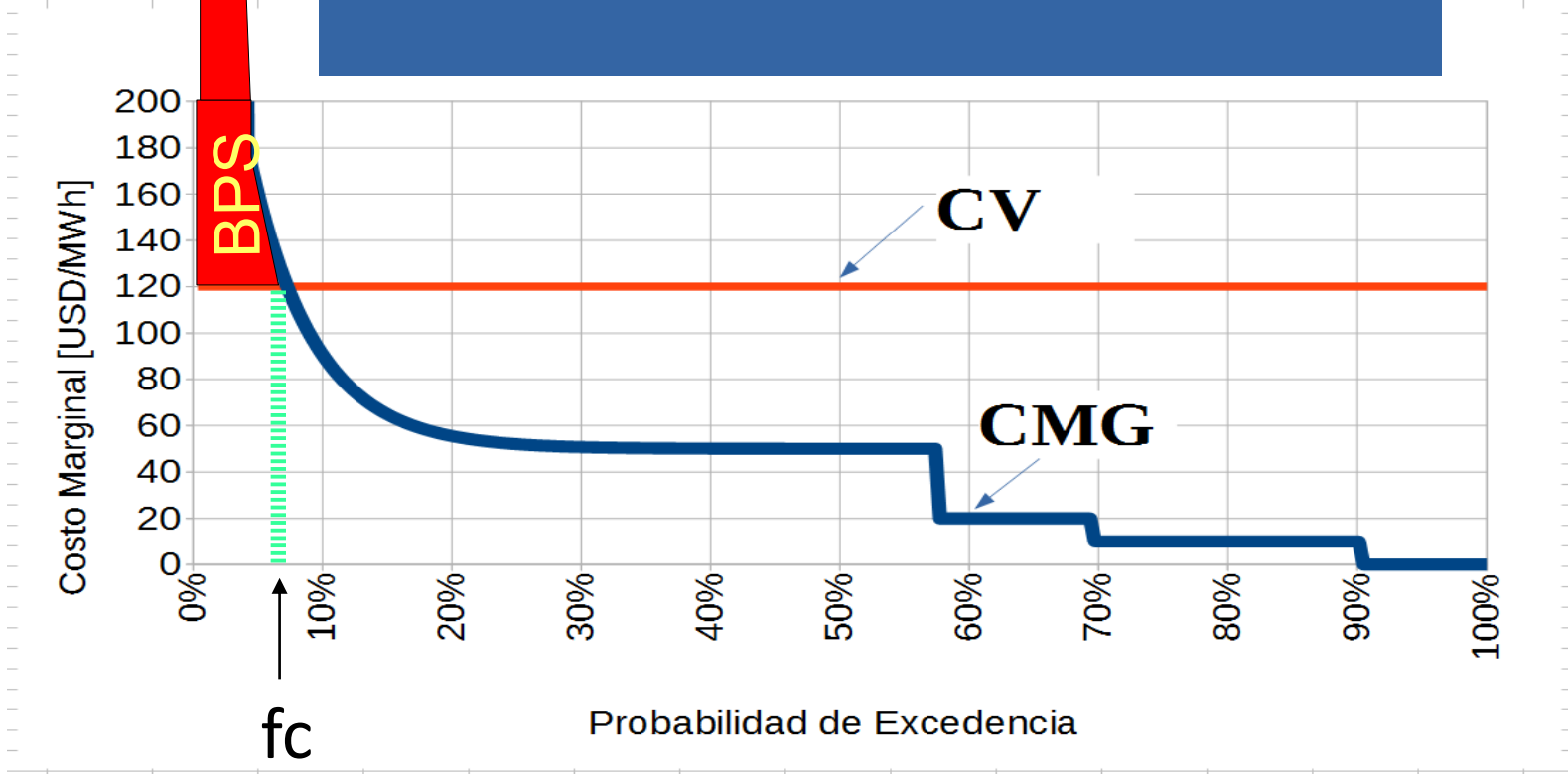


Costo Marginal, CV y Factor de Despacho

Cada tecnología tiene su CV, y es despachada (convocada) con cierto factor de despacho f_c .



Beneficio Por Sustitución

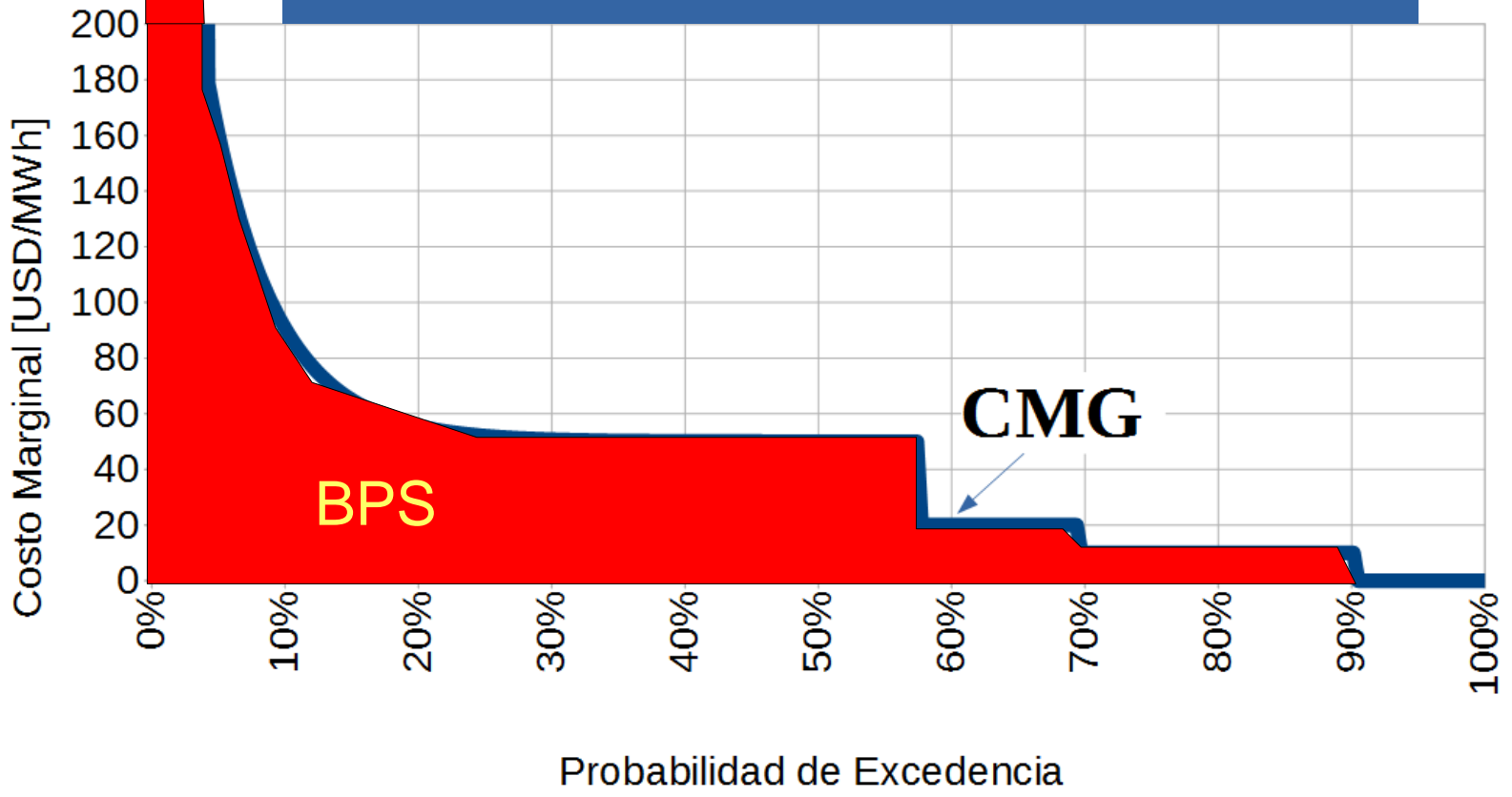


Beneficio **del último MW** de la tecnología que tiene el $CMG=CV$

$$\$ = \int_0^{fc} [(CMG - CV) \times 1 \text{ MW} \times fd] dp = fd \int_0^{fc} (CMG - CV) dp = BPS \times fd$$

fd es el factor de DISPONIBILIDAD

Eólica:
CV = 0 USD/MWh



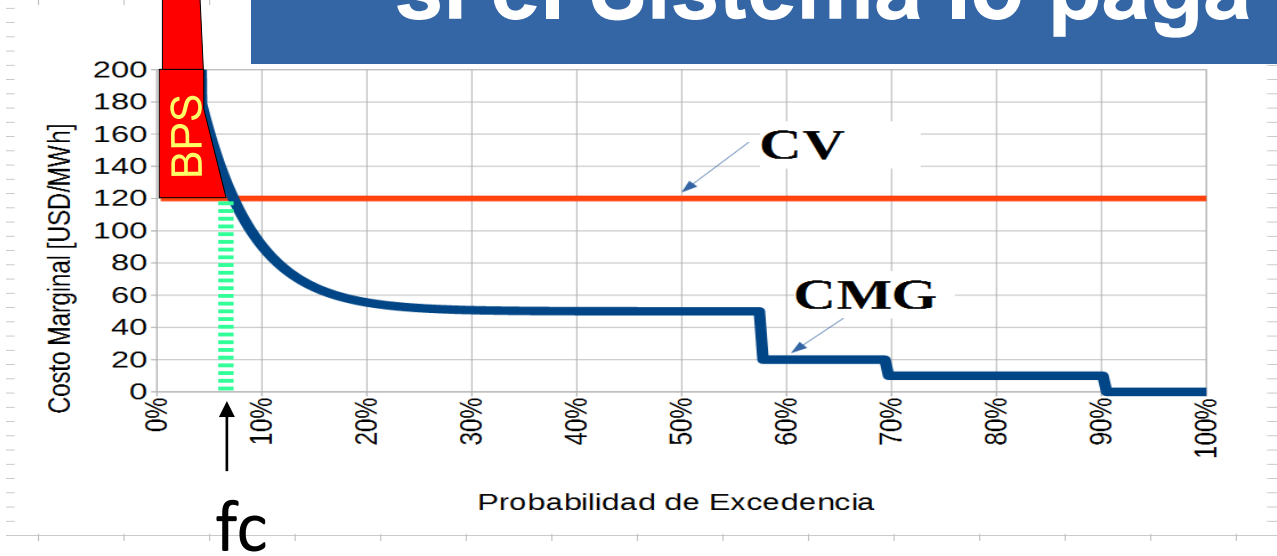
Pago por Disponibilidad

Una forma de remunerar una Inversión de un Generador asociada a un costo **FIJO**, es pagarle por MW-medios disponible en cada hora. No depende si se despacha o no. Se denomina Pago por Potencia Disponible (PP). Al estar asociado a cierto tiempo (hora), es una magnitud **ENERGÉTICA** y sus unidades son **USD/MWh**.

Para reafirmar que se paga por **Disponibilidad** usualmente se indica como

USD/MWh-d

Instalo un MW marginal si el Sistema lo paga



Supongamos que la tecnología tiene un **PP [USD/MWh-d]**

Limite hasta que se instala un MW marginal

$$PP = BPS \times fd$$

Gradiente de Inversión

$$GI = (BPS * fd - PP) / PP$$

**La tecnología más eficiente
marca la expansión hasta
que su $GI = 0$.**

2.1.d) Gradiente de inversión.

Se entiende por Gradiente de Inversión (GI), en cada paso de tiempo, a la diferencia entre el Beneficio Marginal de Sustitución (BMS) de la energía que entrega el actor y los Pagos por Energía (PE) y Pago por Potencia (PP) que reciba el actor en el mismo paso de tiempo.

$$GI = BMS - PP - PE \quad \text{ec.(1) Gradiente de Inversión.}$$

El BMG se calcula como se muestra en la ec. . Si el Actor genera una energía E, se incurrirá en el costo E_{cv} pero se evitará el costo E_{cmg} en las unidades generadoras que cuya energía se ve reducida.

$$BMG = E(cm_g - cv) \quad \text{ec.(2) Beneficio marginal de sustitución.}$$

Si $GI > 0$ el generador en ese paso de tiempo “crea valor” dado que el beneficio creado por reducir el costo e generación (BMS) es superior a los pagos requeridos por el generador. A la inversa, si $GI < 0$, el generador “destruye valor” es ese paso de tiempo. Como las inversiones se remuneran en plazos de 10 a 20 años, puede ocurrir que un generador no genere valor (o destruya valor) en determinados períodos (por ejemplo en primavera) pero que el valor creado en otros períodos compense la pérdida. Por esta razón, se suele mirar más que el GI por paso de tiempo el valor integrado (filtrando así estacionalidades y las aleatoriedades simuladas). En las etapas del horizonte de análisis donde el valor esperado de la integral de GI sea horizontal, el generador está en equilibrio, en aquellas en que el valor esperado de la integral de GI muestre pendiente positiva se está indicando que sería rentable incrementar la potencia del generador y en las que sea negativo sería rentable instalar menos potencia de ese generador.

En la solapa “Simulador” del editor hay un casillero que permite especificar “Calcular Gradiente de Inversión en p.u.”. Si no se marca, el GI se calcula como se especificó en la ec.1. Si el casillero se marca, el GI se calcula en por unidad del pago por potencia como se muestra en la ec3.

$$gi = \frac{BMS - PP - PE}{PP} \quad \text{ec.(3) Gradiente de Inversión en por unidad de los costos fijos..}$$

Editor - SimSEE - v_iie90.238 (GPLv3, IIE-FING) - PEGSE_semanal_2022_v10.es

Archivo Herramientas ? Idioma

Notas Variables Globales Fuentes Actores Archivos Estados Mantenimientos Monitores SimRes3 **Simulador ?**

Escenarios y ejecución Parámetros optimización **Parámetros simulación**

Número de Crónicas de la Simulación: Obligar Disponibilidad = 1? Considerar Forzamientos

Máximo Número de Iteraciones Sim: Obligar Inicio de Crónica Incierto.

Semilla aleatoria: **Calcular Gradiente de Inversion en pu**

Publicar Solo Variables Usadas En SimRes3

Imprimir Archivos De Fin de Estado.

Servicio de confiabilidad del sistema.

Techo del Spot [USD/MWh]: Calcular Pago por Serv. de Conf. del Sist.

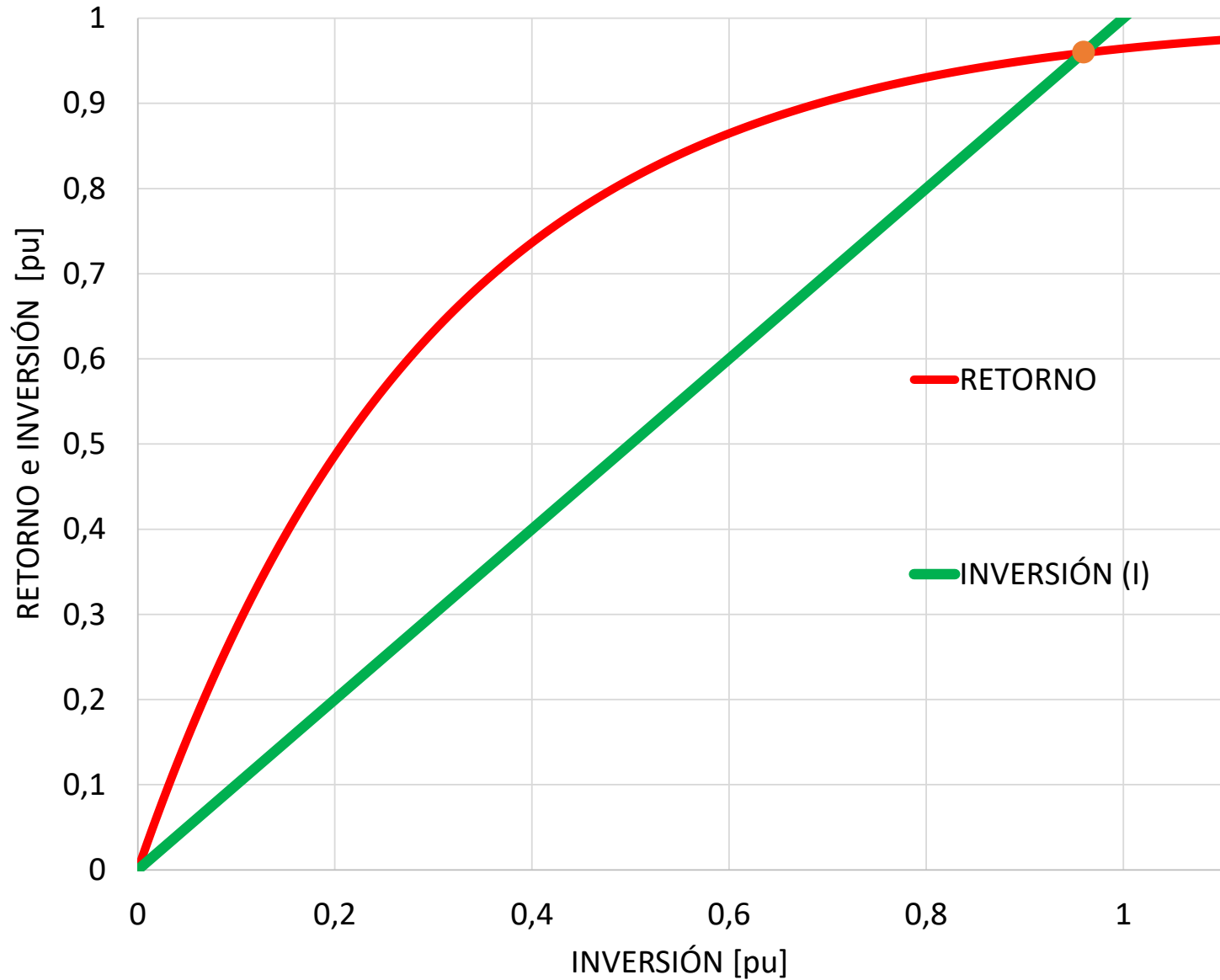
Fuente indexación:

Borne indexación:

Economía Básica del Curso (1)

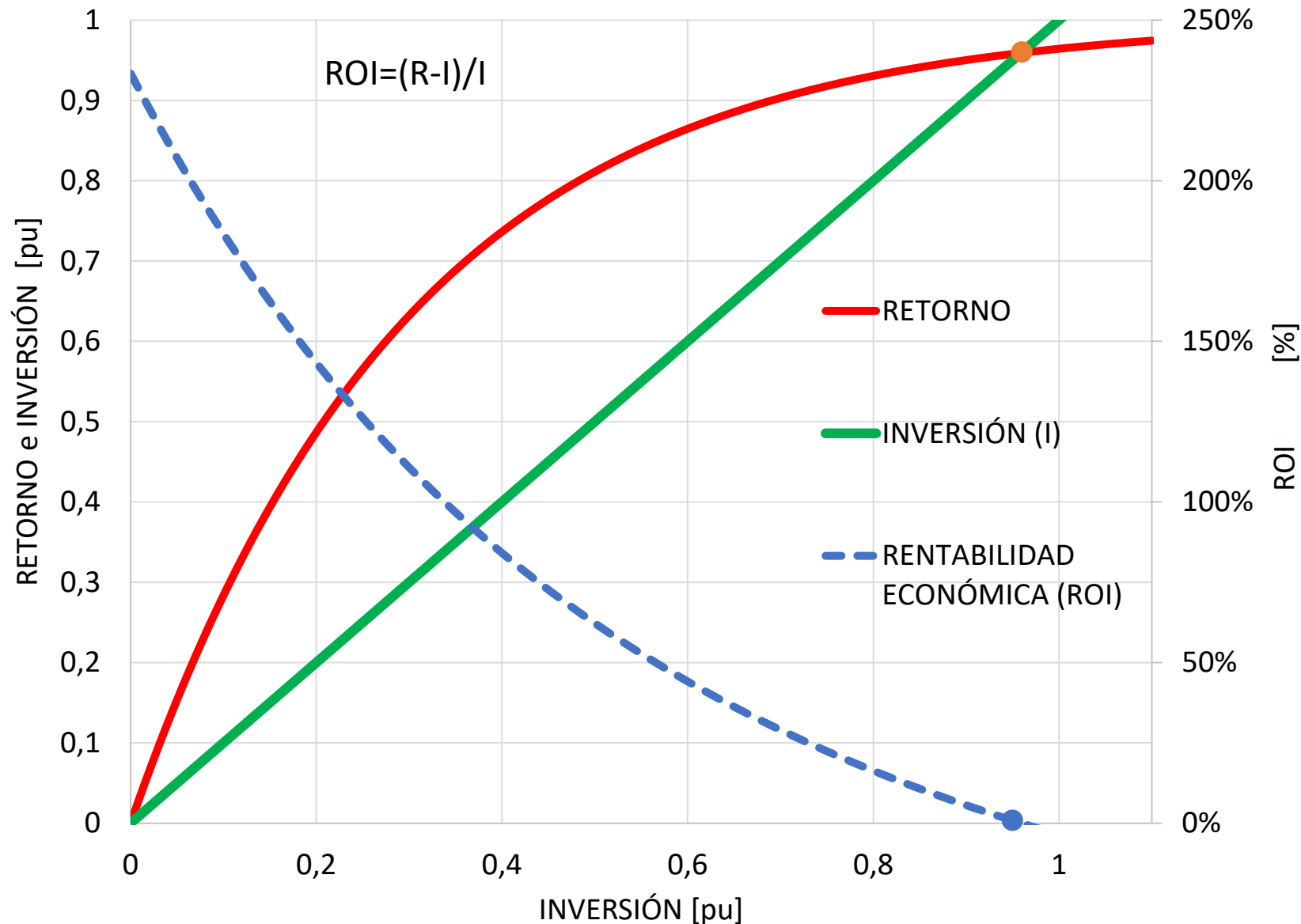
- I = INVERSIÓN. En general se asocia a los costos FIJOS que pueden ser la inversión inicial pero también los costos de operación y mantenimiento.
- R = RETORNO (asociado a la inversión I). Por ejemplo el BPS es el retorno obtenido al sustituir el costo marginal con un costo VARIABLE menor. También se puede asociar a los INGRESOS asociados a una inversión I .
- ROI = Rentabilidad Económica de una Inversión. En Economía se definen como la razón entre los Beneficios Netos (Ingresos – Gastos) y la INVERSIÓN. En el caso que el único Gasto sea el asociado a los costos de la INVERSIÓN el ROI es $(R-I)/I$
- EL ROI me dice cuánto dinero se gana realmente respecto a lo invertido.

Retorno e Inversión

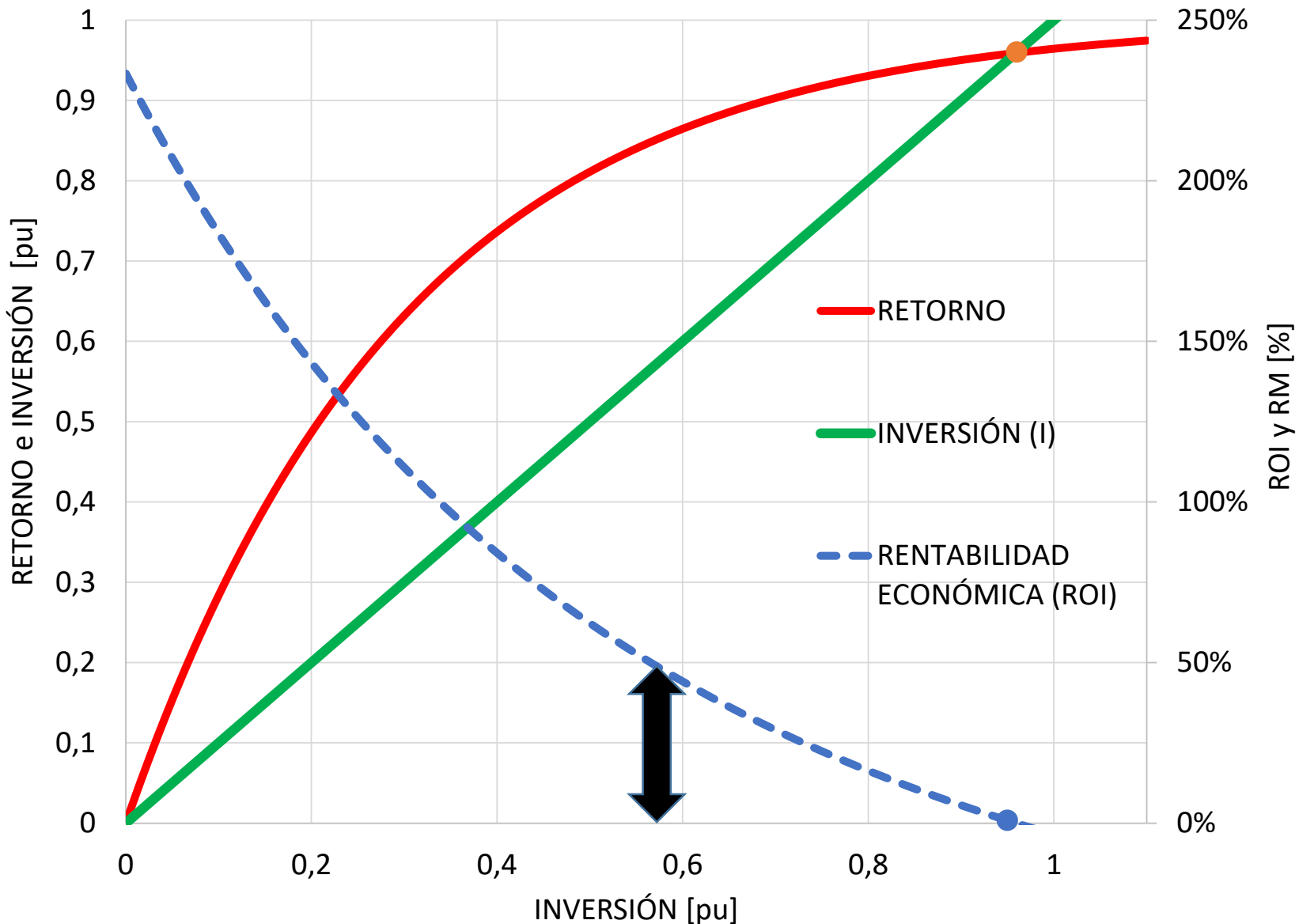


Error 1: Maximizar el Retorno

Y si llego al extremo R = I, resulta un ROI nulo y lo único que hice fue trabajar y mover plata.



Error 2: Invierto mientras que el ROI sea mayor que cierto valor

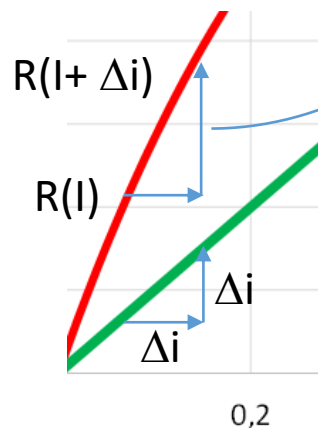


Economía Básica del Curso (2)

El ROI no nos permite per se saber **cuánto** invertir.

En Economía se define al ROI de la última etapa de una inversión como la RENTABILIDAD MARGINAL (RM). Por tanto recordando que $ROI=(R-I)/I$ sería:

$$RM = \lim_{\Delta i \rightarrow 0} \frac{R(I + \Delta i) - R(I)}{\Delta i}$$



0,2

Economía Básica del Curso (2)

El ROI no nos permite per se saber **cuánto** invertir.

En Economía se define al ROI de la última etapa de una inversión como la RENTABILIDAD MARGINAL (RM). Por tanto recordando que $ROI=(R-I)/I$ sería:

$$RM = \lim_{\Delta i \rightarrow 0} \frac{R(I + \Delta i) - R(I) - \Delta i}{\Delta i} = \frac{dR(I)}{dI} - 1$$

Economía Básica del Curso (2)

El ROI no nos permite per se saber **cuánto** invertir.

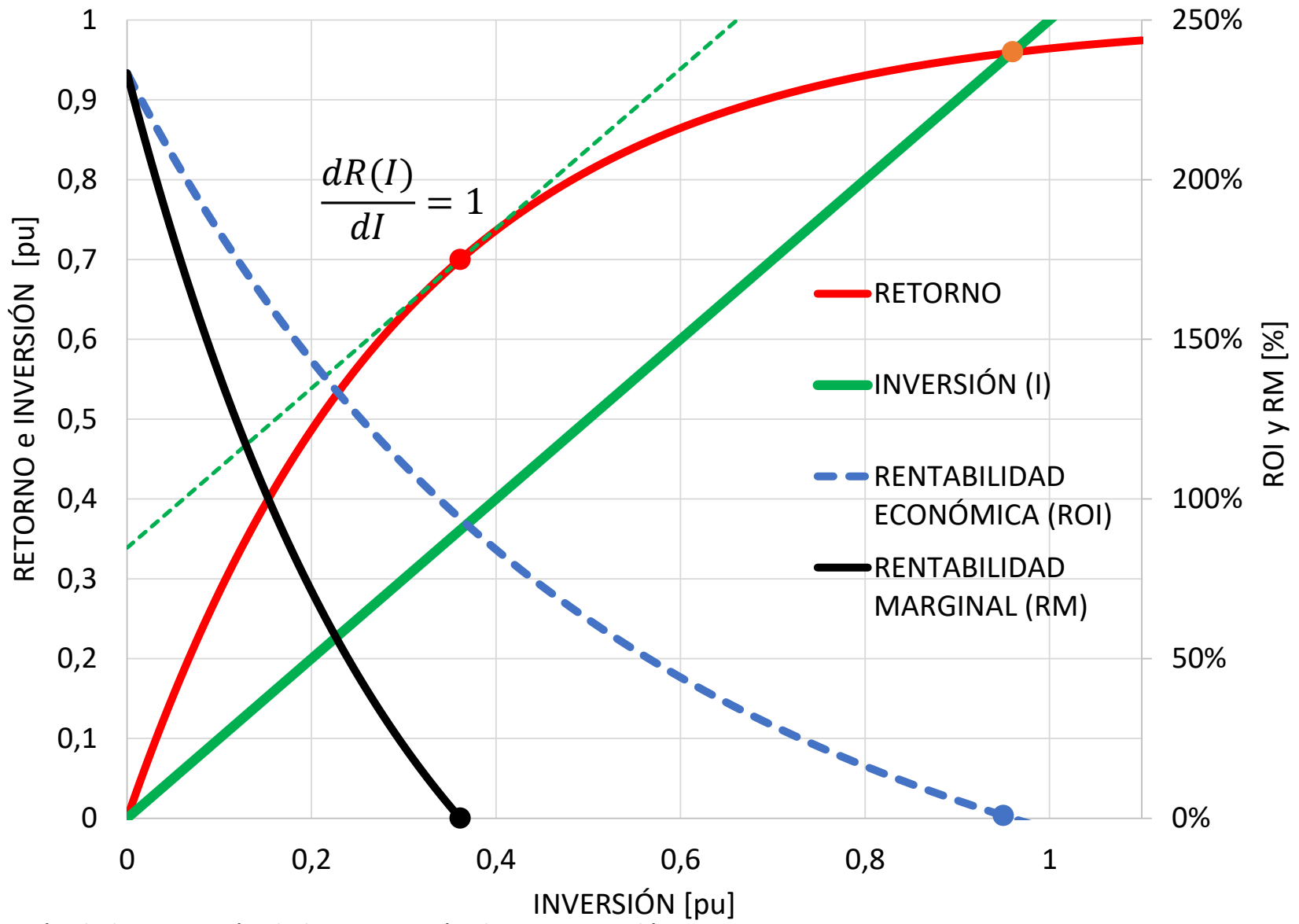
En Economía se define al ROI de la última etapa de una inversión como la RENTABILIDAD MARGINAL (RM). Por tanto recordando que $ROI=(R-I)/I$ sería:

$$RM = \lim_{\Delta i \rightarrow 0} \frac{R(I + \Delta i) - R(I) - \Delta i}{\Delta i} = \frac{dR(I)}{dI} - 1$$

No tiene fundamento económico invertir si el RM es negativo. Por tanto el límite es $RM = 0$. En definitiva se verifica que

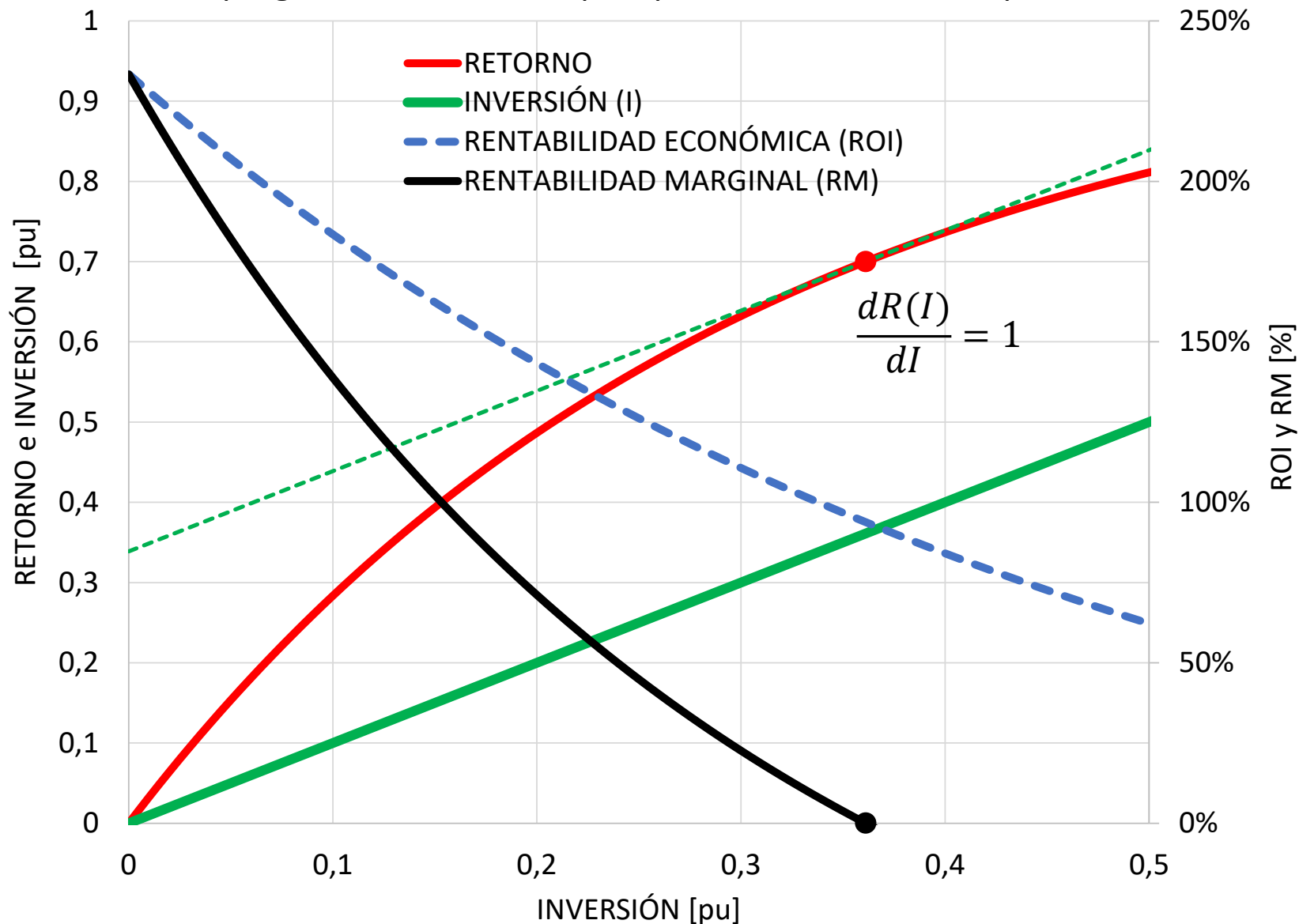
$$\frac{dR(I)}{dI} = 1$$

Costo marginal de la Inversión equiparado al Retorno marginal



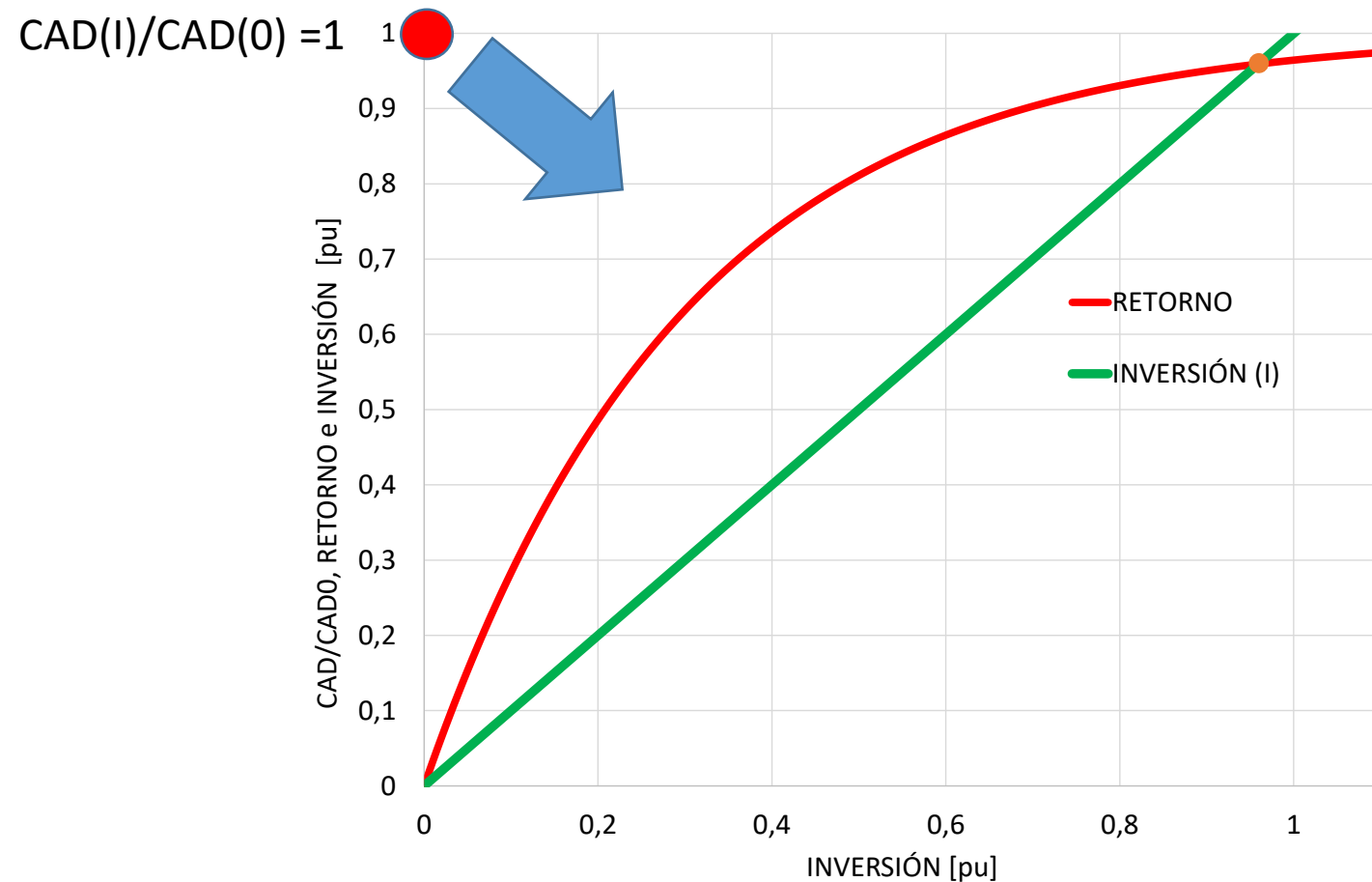
¿Para que instalo esa última unidad si no gano nada?

La pregunta debería ser: ¿por que instalar una más si pierdo?



PEG -> Bajar el CAD

$$CAD(I) = CAD(0) - R(I) + I(I)$$

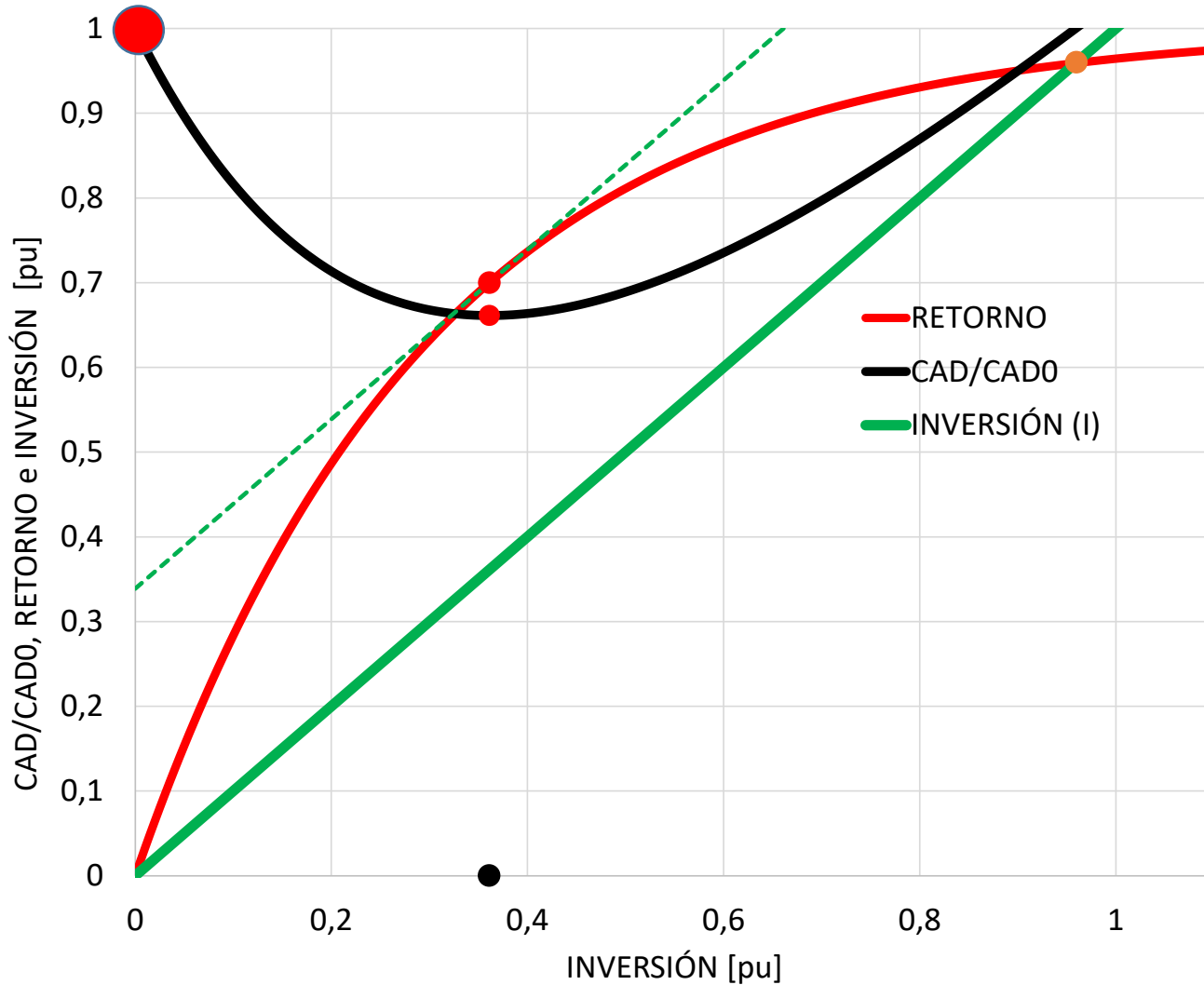


$$CAD(I) = CAD(0) - R(I) + I(I)$$

$$\frac{dCAD(I)}{dI} = 0 \rightarrow \frac{dR(I)}{dI} = \frac{dI}{dI} = 1$$

Optimizar el **CAD** es exactamente lo mismo a igualar los costos incrementales del Retorno (**R**) y de la inversión (**I**)

$$CAD(I) = CAD(0) - R(I) + I(I)$$

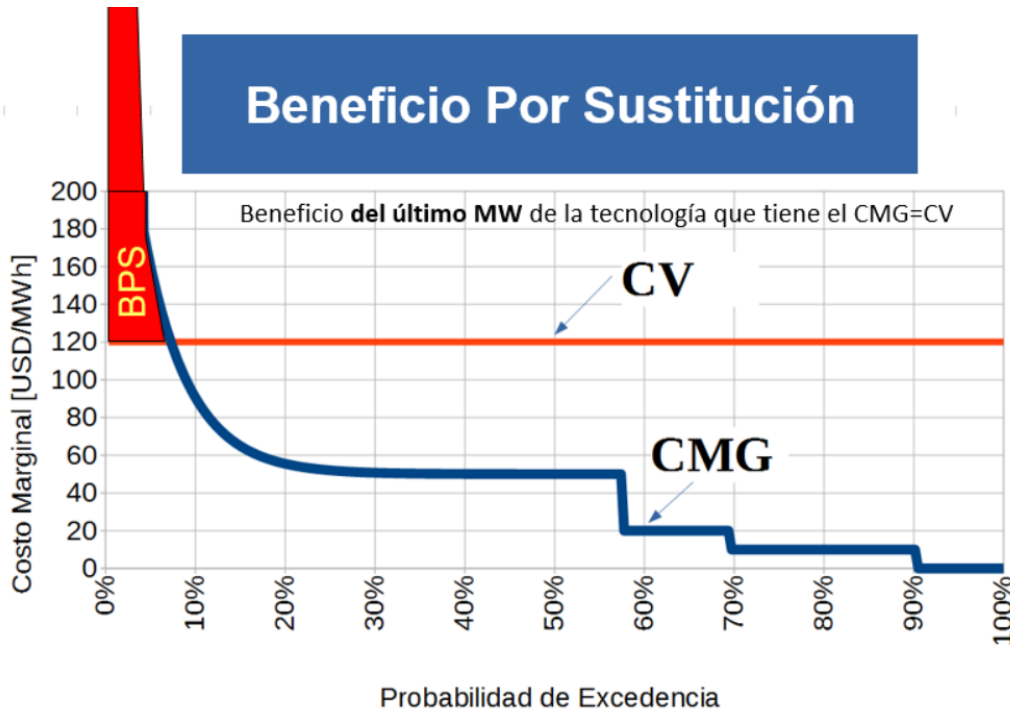


Lo que se corresponde con la mirada MARGINALISTA:

Todas son formas de ver la Teoría Marginalista

Beneficio Por Sustitución

Gradiente de Inversión



$$GI = (BPS * fd - PP) / PP$$

La tecnología más eficiente marca la expansión hasta que su GI = 0.

Optimizar el CAD

$$\frac{dCAD(I)}{dI} = 0 \rightarrow \frac{dR(I)}{dI} = \frac{dI}{dI} = 1$$

Ejercicios

- [Ejercicio 3, 4 y 5](#)
- [Ejercicio 6](#)

Hay que Optimizar el VE

- En la PEG, se trata de elegir entre proyectos de inversión y nos debe permitir comparar y decidir entre diferentes opciones.
- En el caso del sector eléctrico se trata de minimizar en todo momento el VE del Costo de Abastecimiento de la Demanda (CAD).
- El VE(CAD) incluye tanto los Costos Fijos (CF) como los Costos Variables (CV).
- La teoría de juegos nos dice que al final del día hay que optimizar el VE, lo cual no quita que evaluemos los riesgos extremos.
- Si soy adverso al riesgo y no optimizo el VE, es porque no tengo bien diseñada la función de costo. A los “miedos” hay que tratar de ponerles costos. **En general esto se hace mediante la correcta asignación del Costo de Falla (racionamiento).** Cualquier otro procedimiento externo podría llevarnos a sobre invertir o sub invertir y tampoco nos permitirá comparar económicamente las alternativas.
- En todo caso los riesgos extremos difíciles de caracterizar por ser poco probables, deben ser cubiertos con seguros.

Caracterización de la Falla

- Es común representar la Falla o Racionamiento en el suministro de energía valorizando el costo que representa para la economía del país.
- Dependiendo del modelo utilizado para representar el sistema, la Falla puede o no quedar bien representada. Como además está asociada a eventos poco probables (cola de las distribuciones) son situaciones difíciles de representar y de captar en las simulaciones. Por esta razón en ocasiones se suelen utilizar "criterios-auxiliares" o también conocidos como "criterios-físicos" para diferenciarlos de los "criterios-económicos".
- Pero no hay que perder de vista que la utilización de "criterios-físicos" en forma "ciega" (es decir sin ponderar el costo económico de usar dichos criterios) podría llevarnos a sobre-invertir o sub-invertir respecto del óptimo económico.
- Por esta razón, si se utilizan "criterios-físicos" para la determinación de un plan de expansión, resulta por lo menos interesante tener una cuantificación de cuáles serían los valores de los Costos de Falla que llevarían a una planificación coincidente con el criterio-físico. Y si son muy diferentes a los utilizados como costos de falla de un país, hay que intentar determinar el origen de la diferencia.
- Los Costos de Falla tienen incidencia directa sobre la valorización de los recursos almacenables, las remuneraciones de energía en los mercados y por consiguiente sobre la rentabilidad de las inversiones. La utilización de "criterios-físicos" que permitan la fijación de Costo Falla inconsistentes con la seguridad deseada, crea una inconsistencia entre los costos marginales de la energía y las inversiones, por lo que para aquellos mercados que utilizan el costo marginal como forma de remuneración e incentivo a la inversión, serán ineficientes.

Ejemplo de Criterio-Físico

3.3 Requisitos do Sistema no Horizonte Decenal

CNPE n° 29, de 2019, que estabeleceu as métricas para os novos critérios, além da Portaria MME n° 59, de 2020, que estabeleceu os parâmetros associados a essas métricas. Com esse novo regramento, o SIN passa a contar com critérios explícitos para o suprimento de potência além de ter seus critérios de suprimento de energia atualizados à nova realidade do sistema.

A partir do estabelecimento destes novos critérios, o PDE 2030 apresentou proposta metodológica para quantificar o montante de oferta adicional que o sistema requer para que as condições operativas futuras estejam conforme os limites estabelecidos, assegurando o atendimento em todas as suas dimensões. Esse montante de oferta necessário foi denominado de Requisitos do Sistema.

A partir da configuração do Caso Base, a avaliação da adequabilidade do suprimento de energia e de potência considera a simulação com 2.000 cenários hidrológicos de energias naturais afluentes. As métricas e parâmetros estabelecidos para esta avaliação são:



Métricas y límites de BR

ENERGÍA

- CVaR¹⁶ 1% da Energia Não Suprida (ENS) \leq 5% da Demanda

Risco e sua profundidade de energia: em base anual, são avaliados os 1% piores cenários de atendimento à demanda de energia, onde a média do corte de carga nesses cenários não pode ser superior à 5% da demanda do SIN e de cada subsistema.

- CVaR 10% CMO \leq 800[R\$/MWh]

Critério energético-econômico: em base mensal, são avaliados os 10% cenários com CMO mais elevado, onde a média desses cenários não pode ser superior a R\$ 800/MWh em nenhum subsistema avaliado.

150 USD/MWh

POTENCIA

- CVaR 5% da Potência Não Suprida (PNS) \leq 5% da Demanda

Risco e sua profundidade de potência: em base mensal, são avaliados os 5% piores cenários de atendimento à demanda máxima de potência, onde a média desses cenários não pode ser superior à 5% da demanda instantânea do SIN e de cada subsistema.

- LOLP¹⁷ \leq 5%

Risco de potência: em base anual, possui um limite de 5% de probabilidade de ocorrência de qualquer déficit por motivo de insuficiência de capacidade de potência, para o SIN e para cada subsistema.

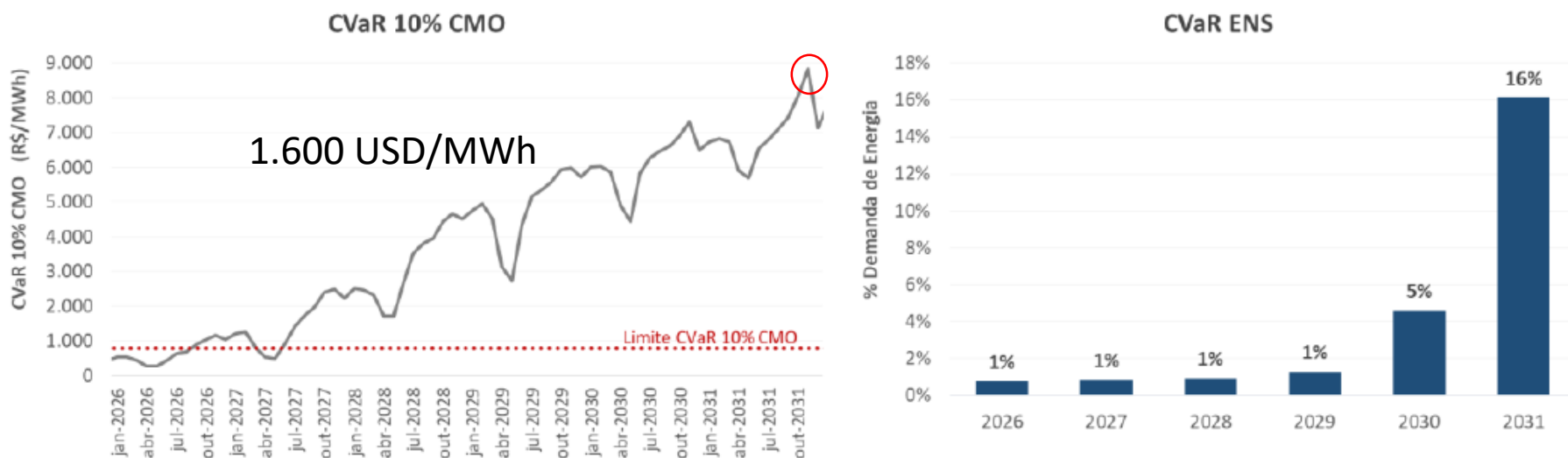
¹⁶ CVaR = Conditioned Value at Risk (Valor esperado condicionado a um determinado nível de confiança)

¹⁷ LOLP = Loss of Load Probability (risco de insuficiência de capacidade)

ENERGÍA: Plan decenal BR al 2031

CMO: Costo Marginal Operativo
 ENS: Energía No Suministrada

Gráfico 3 - 15: Avaliação do Atendimento ao Critério de Suprimento de Energia: (a) CVaR 10% CMO; (b) CVaR ENS

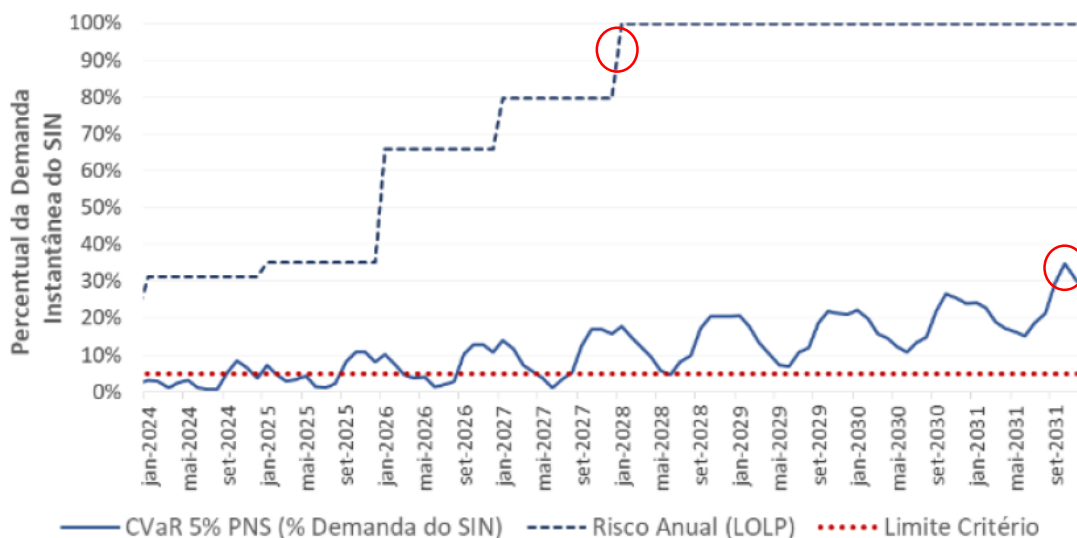


En el año 2031, en el promedio del 10 % de las peores crónicas, el Costo Marginal Operativo sería de 1.600 USD/MWh

En el año 2031, en el promedio del 1 % de las peores crónicas, habría un déficit del 16 % de ENERGÍA.

POTENCIA: Plan decenal BR al 2031

Gráfico 3 - 16: Avaliação do Atendimento aos Critérios de Suprimento de Potência: CVaR 5% PNS [% da Demanda Instantânea] e LOLP



En el año 2031, en el promedio del 5% de las peores crónicas del peor mes, el faltante de Potencia Instantánea será del 35 % de la Potencia Instantánea Máxima de la Demanda.

A partir del año 2028, la probabilidad de que en el transcurso el año la Potencia de la demanda no pueda ser suministrada totalmente es mayor a 5%.

Valores de Falla utilizados en el Uruguay -Despacho Económico utilizando SimSEE-

Escalones de falla

Número de escalones:

Escalón				
Profundidad[p]	0.02	0.05	0.075	0.855
Costo[USD/MV]	373.2	600	2400	4000



Restricciones Voluntarias o...

En Uruguay no hay Criterios-Físicos en la Operativa ni para la Planificación.
ADME evalúan los niveles de Falla en sus informes Anuales de Garantía de Suministro.